Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского

Обнаружение дорог с различными типами покрытий по многоспектральным спутниковым изображениям

с использованием методов
глубокого обучения

О. В. Григорьева
Е. В. Харжевский

Санкт-Петербург, 2026



Задача исследования

Автоматическое обновление дорожной сети

Сегментация спутниковых снимков даёт основу для выделения дорог и построения их геометрии.

Покрытие, тени и растительность

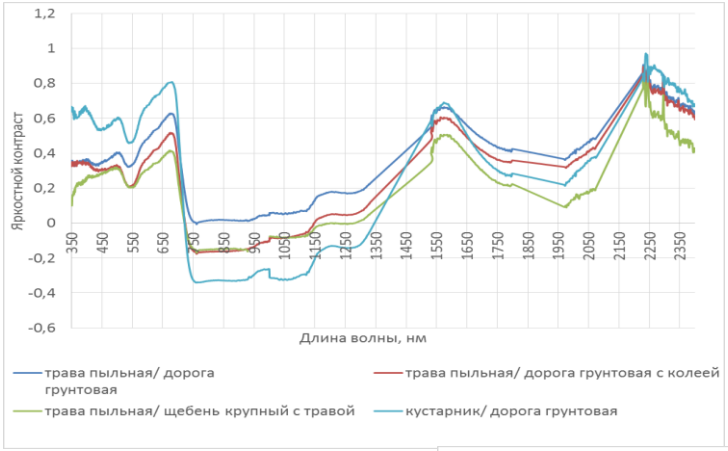
Спектральный отклик дороги меняется. Кроны и тени скрывают участки сети, а грунтовые дороги сливаются с фоном.



WorldView-2. Ленинградская область

Цель	**Оценить вклад многоспектральных данных и отдельного учёта грунтовых дорог.**

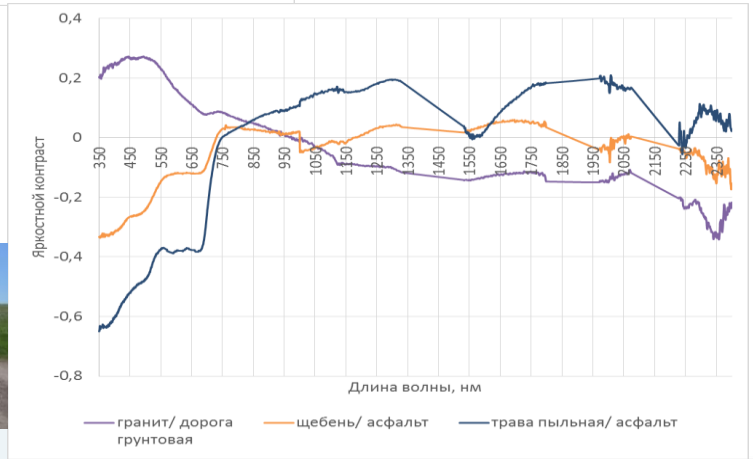
БД спектральных характеристик











РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2012621165

База данных КСЯ в спектральном диапазоне 400…1000 нм для основных типов подстилающей поверхности (почв, растительности, ледовых и снежных покровов, водной поверхности, объектов искусственного происхождения), встречающихся в районах съемки КА «Ресурс-П»

Правообладатель(ли): ***Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации (RU)***

Автор(ы): ***(см. на обороте)***

Заявка № **2012620611**

Дата поступления **21 июня 2012 г.**

Зарегистрировано в Реестре баз данных

13 ноября 2012 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

Спектральные каналы WorldView-3

Для сегментации используются 8 каналов VNIR с исходным шагом 1,24 м.

Канал	Диапазон, нм	Спектральная область
1. Прибрежный (Coastal)	400–450	Видимый диапазон, вне RGB
2. Синий (Blue)	450–510	Видимый диапазон, RGB
3. Зелёный (Green)	510–580	Видимый диапазон, RGB
4. Жёлтый (Yellow)	585–625	Видимый диапазон, вне RGB
5. Красный (Red)	630–690	Видимый диапазон, RGB
6. Красный край (Red Edge)	705–745	Переход к ближнему ИК
7. Ближний ИК (NIR1)	770–895	Ближний ИК
8. Ближний ИК (NIR2)	860–1040	Ближний ИК

Другие системы съёмки на борту

PAN 450–800 нм, 0,31 м SWIR 8 каналов, 1195–2365 нм, 3,7 м

CAVIS 12 каналов, 405–2245 нм, 30 м. Контроль атмосферы, облаков и снега.

Паспорт WorldView-3. Размер пикселя приведён для съёмки в надире.

Набор данных SpaceNet 3 Roads

WorldView-3. Четыре территории и 8 677 км размеченных осей дорог



Лас-Вегас



Париж



Шанхай



Хартум

Снимки

Продукт	Каналы	Размер, пикс.
MS	8	325 × 325
PAN	1	1300 × 1300
PS-MS	8	1300 × 1300
PS-RGB	3	1300 × 1300

PS — паншарпенинг. GeoTIFF, uint16.
Размер участка около 400 × 400 м.

Разметка

GeoJSON с осями дорог и атрибутом покрытия. Оси преобразуются в пиксельные маски для обучения.

Разбиение в работе

Обучение — 2 011 сцен.
Лас-Вегас и Шанхай.
Валидация — 283 сцены, Хартум.
Тест — 257 сцен, Париж.

SpaceNet 3 Roads. Примеры исходных снимков из локального набора.

Сегментация и постобработка

01 Многоспектральный вход

Восемь каналов WorldView-3 поступают в U-Net с предобученным энкодером VGG16.

02 Учёт типа покрытия

Грунтовые дороги выделяются в отдельный класс. Повышенный вес увеличивает вклад их ошибок в функцию потерь.

03 Геометрия дорожной сети

Предсказания фрагментов объединяются. После очистки и замыкания маски строится скелет и трассируются рёбра.

≈0,8 % **доля грунтовых дорог по оценке из тезисов**

Сравнение RGB и MS



Исходный снимок



Эталон, буфер 8 м

Париж. Плотная городская сеть

Один фрагмент 800 × 800 пикселей.
Результаты после постобработки.

F1: RGB 0,67 · MS 1 класс 0,71 · MS 2 класса 0,78

RGB, 1 класс дорог



MS, 1 класс дорог



MS, 2 класса дорог

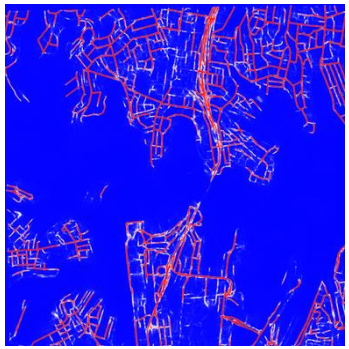


Апробация на снимках WorldView-2

Австралия



Снимок



Вероятность дороги



Результат

Ленинградская область



≈80 %

F1 по данным внешней апробации

Бирюзовым показаны участки,
которые модель отнесла к дорогам.

Метрика F1 по тезисам. Иллюстрации из дополнительных материалов.

Выводы

01 Качество сегментации

В сравнительном эксперименте
многоклассовая MS-модель
превзошла по F1 базовые варианты.

02 Грунтовые дороги

Отдельный класс и повышенный вес
учитывают редкое покрытие.
Нужны примеры на разных фонах.

03 Применение в других районах

Апробация на WorldView-2
показывает возможность переноса модели.
Нужна оценка по территориям и покрытиям.